مجله بین المللی مهندسی

**مشکل برنامه ریزی جرثقیل های اسکله و کامیون های حیاطی در پایانه های کانتینر**

S. Behjat, N. Nahavandi\*

دانشکده مهندسی صنایع و سیستم ها ، دانشگاه تربیت مدرس ، تهران ، ایران

**چکیده**

یک مدل ریاضی دو هدفه برای بررسی همزمان مشکلات جرثقیل اسکله و مشکلات برنامه ریزی کامیون حیاط در پایانه های کانتینر ساخته شده است. فرضیات اصلی در دنیای واقعی ، مانند جرثقیل های اسکله ای با محدودیت های غیر عبور ، حاشیه ایمنی جرثقیل های اسکله ای و محدودیت های اولویت در این مدل در نظر گرفته شده است. این روش یکپارچه منجر به کارایی و بهره وری بهتر در پایانه های کانتینری می شود. بر اساس آزمایشات عددی ، مدل ریاضی پیشنهادی برای حل موارد کوچک اندازه گیری موثر است. دو نسخه از الگوریتم بازپخت شبیه سازی شده برای حل اکتشافی نمونه های با اندازه بزرگ توسعه یافته است. با توجه به تخصیص کامیون ها به عنوان یک مشکل گروه بندی ، یک نسخه گروه بندی از الگوریتم بازپخت شبیه سازی شده ارائه شده است. اثربخشی الگوریتم های ارائه شده با نتایج بهینه مدل ریاضی بر روی مسائل با اندازه کوچک مقایسه می شود. علاوه بر این ، عملکرد الگوریتم های پیشنهادی در نمونه های با اندازه بزرگ با یکدیگر مقایسه می شوند و نتایج عددی نشان می دهد که نسخه گروه بندی الگوریتم بازپخت شبیه سازی شده از الگوریتم بازپخت شبیه سازی شده بهتر عمل می کند. براساس بررسی های عددی ، بین زمان اتمام وظایف و هزینه استفاده از کامیون های بیشتر یک معامله وجود دارد. علاوه بر این افزایش تعداد YT منجر به نتایج بهتری نسبت به افزایش تعداد QC می شود. علاوه بر استراتژی دو چرخه و استفاده از انتساب دینامیکی کامیون حیاط به جرثقیل های اسکله منجر به بارگیری و تخلیه سریعتر می شود.

**مقدمه**

به ویژه در دهه های گذشته ، پایانه های کانتینری نقش بسزایی در سیستم حمل و نقل جهانی داشته اند [1]. طبق بررسی انجام شده توسط حمل و نقل دریایی [2] ، توان تولید بندر کانتینر جهانی به 752 میلیون واحد معادل 20 فوت (TEU) در سال 2017 رسیده است. این نشان دهنده اضافه شدن 42.3 میلیون TEU در آن سال است. این گزارش 5 درصد رشد کل ظرفیت TEU تا ژانویه 2019 را تخمین می زند [2]. با توجه به نرخ رشد تدریجی حجم کانتینرهای حمل شده در دهه گذشته ، باید بازده عملیاتی پایانه های کانتینری بهینه شود.

در این مطالعه تعیین تکلیف کانتینرها به جرثقیل های اسکله و کامیون ها و همچنین توالی کارهای انجام شده توسط هر جرثقیل اسکله و هر کامیون تعیین می شود. عملکرد هدف مدل ارائه شده ترکیبی خطی از طول کشتی و مجموع زمان اتمام جرثقیل های اسکله است.

مدیریت این عملیات پیچیده خصوصاً در سالهای گذشته برای محققان مسئله جذابی است. در سال 1989 ، داگانزو [3] برای اولین بار با فرض تعداد معینی شناور و QC در اسکله ، یک مدل ریاضی برای مسئله برنامه ریزی جرثقیل اسکله ارائه داد. کیم و پارک [4] با در نظر گرفتن محدودیت های متعدد در مورد مشکل برنامه ریزی جرثقیل اسکله ، یک مدل برنامه ریزی صحیح (MIP) مختلط را پیشنهاد کردند. این مدل بعدا توسط Moccia و همکاران اصلاح شد. [5] انبوهی از فرضیه های دیگر در مورد موارد واقعی در تحقیقات محققان وجود دارد از جمله فرضیاتی مانند فاصله ایمنی بین جرثقیل ها (به عنوان مثال Nguyen و همکاران ، [6] ؛ Kaveshgar و دیگران ، [7]) ، جرثقیل های غیر تقاطع (به عنوان مثال توکلی-مقدم و دیگران [8] ؛ امده ، [9]) ، رابطه اولویت بین کانتینرها (به عنوان مثال کیم و پارک ، [4] ؛ سامارا و همکاران ، [10]) و برنامه های یک جهته برای جرثقیل های اسکله ( به عنوان مثال لگاتو و دیگران ، [11] ؛ چن و بیرلر ، [12]). مقوله بندی و بررسی جامع مقالات مختلف در این زمینه توسط Bierwirth و Meisel انجام شد [13 ، 14]

علاوه بر این ، مطالعه مشکلات برنامه ریزی مستقل جرثقیل های اسکله (QC) و کامیون های حیاط (YT) ؛ چندین مطالعه در سال های اخیر انجام شده است که به هر دو مشکل ادغام نزدیک می شود. چن و همکاران [15] مسئله مدیریت عملیاتی یکپارچه QC ها ، YT ها و YC ها را به عنوان یک مسئله زمان بندی ترکیبی از فلوشگاه در نظر گرفت و فرموله کرد. علاوه بر این ، با توجه به اولویت و محدودیت های مسدود کننده ، آنها یک الگوریتم جستجوی Tabu با یک تابع هدف برای به حداقل رساندن میزان ساخت ایجاد کردند [15]. یک مدل ریاضی برای حل مشکل برنامه ریزی جرثقیل اسکله مشترک و کامیون توسط تانگ و همکاران ارائه شده است. [16] با در نظر گرفتن هر دو ظروف ورودی و خروجی ، علاوه بر ایجاد چندین نابرابری معتبر ، آنها دو مرز پایین برای مدل ارائه شده خود ارائه داده اند. Kaveshgar و Huynh [17] مسئله زمانبندی مشترک QC و YT را مطالعه کردند. همچنین آنها یک مدل برنامه نویسی عدد صحیح مختلط (MIP) و همچنین یک الگوریتم ژنتیک برای حل مسئله ارائه شده ایجاد کردند. بر اساس حل چندین مسئله عددی ، الگوریتم پیشنهادی نتایج مناسبی را نشان داد [17]. در سال 2019 ، وحدانی و همکاران ، برای حل مشکل تخصیص همزمان شناورها به اسکله ها ، QC ها به شناورها و YT ها به QC ها. [18] یک مدل برنامه نویسی عدد صحیح به همراه دو رویکرد فراتورشی مبتنی بر الگوریتم ژنتیک و الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات (PSO) ارائه داد. نتایج نشان داد که حل همزمان چنین مشکلاتی می تواند منجر به بهبود کارایی این منابع شود و زمان اتمام را کاهش دهد [18]. فاضلی و همکاران [19] آدرس دهی جرثقیل اسکله و مسئله برنامه ریزی و ارائه یک مدل ریاضی و الگوریتم گوزن قرمز (RDA) برای حل این مشکل. در همان زمان ، با فرض اینکه جرثقیل ها از یکدیگر عبور نمی کنند ، بهجت و نهاوندی [20] زمانبندی و تخصیص همزمان QC و YT را بررسی کردند. برای حل این مشکل ، آنها یک مدل برنامه نویسی عدد صحیح و یک روش حل فرا-روش در رابطه با الگوریتم رقابتی امپریالیستی [20] ایجاد کردند.

این فرض که جرثقیل های اسکله از یکدیگر عبور نمی کنند یک محدودیت عملی در مدیریت عملیات بندر کانتینر است. در مطالعه حاضر فرض بر این است که قبل از حل مشکل برنامه ریزی هیچ فرضی در مورد چگونگی اختصاص QC به کشتی یا کانتینر وجود ندارد. این فرض می تواند باعث کاهش کارایی در تخصیص منابع با ارزش در پایانه های کانتینری و افزایش بهره وری آنها با کاهش محدودیت های تعیین تکلیف QC شود. علاوه بر این ، در کنار سایر مفروضات دنیای واقعی ، مانند فرض روابط اولویت یا حاشیه ایمنی که در این مطالعه در نظر گرفته شده است ، چنین فرضی منجر به افزایش پیچیدگی حل مسئله می شود. در نظر گرفتن حاشیه ایمنی بین QC یک فرض در دنیای واقعی است که در مطالعه بهجت و نهاوندی نادیده گرفته شد [20]. در این مقاله ، با توجه به فرضیات اصلی در دنیای واقعی ، یک مدل ریاضی دو هدفه یکپارچه مبتنی بر مفهوم مسئله کارگاه انعطاف پذیر ساخته شده است. از نظر دانش ما ، هیچ مقاله منتشر شده ای در ادبیات مرتبط وجود ندارد که این مسئله را با توجه به فرضیات ذکر شده در زیر ، روش ارائه شده در این مطالعه ، مدل سازی کرده باشد. علاوه بر این ، یک روش حل مبتنی بر الگوریتم بازپخت شبیه سازی شده و مفهوم گروه بندی برای حل مسئله پیشنهادی ، به ویژه برای مسائل با اندازه بزرگ توسعه یافته است.

**2. بیان مسئله**

انتظار می رود که مدیریت یکپارچه QC و YT به بهبود کارایی عملیات مدیریت کانتینر کمک کند. بعلاوه ، با اختصاص پویا کامیون های حیاط به کانتینرها (به جای شناورها یا QC ها) ، پیشرفت در استفاده از YT انتظار می رود. در این مطالعه ، تعیین تکلیف کانتینرها به جرثقیل های اسکله و کامیون ها و همچنین ترتیب کارهایی که توسط هر جرثقیل اسکله و هر کامیون انجام می شود ، تعیین می شود. عملکرد هدف مدل ارائه شده ترکیبی خطی از طول کشتی و مجموع زمان اتمام جرثقیل های اسکله است. استفاده از روش خطی سازی وزنی برای تبدیل یک مسئله چند هدفه به یک هدف واحد ، یک روش معمول برای حل چنین مشکلاتی است.

زمان اتمام کشتی با به حداقل رساندن میزان نگهداری به کمترین مقدار کاهش می یابد. بعلاوه ، به حداقل رساندن مجموع زمانهای اتمام QC منجر به استفاده بهتر از جرثقیل های اسکله می شود. علاوه بر تکمیل سریعتر کارها ، این عملکرد هدف باعث کاهش زمان بیکاری جرثقیل های اسکله می شود. در میان برنامه های مختلف با مقادیر دور برابر برابر ، معمولاً برنامه با حداقل زمان اتمام جرثقیل های اسکله ای به عنوان مطلوب ترین راه حل در نظر گرفته می شود. با این وجود ، به حداقل رساندن میزان ساخت از اهمیت بیشتری برخوردار است. بر این اساس ، وزن به حداقل رساندن میزان کارایی در عملکرد هدف مهمتر از کاهش زمان اتمام جرثقیل های اسکله است.

در این مطالعه فرض بر این است که همزمان ، هر جرثقیل یا کامیون

همانطور که قبلاً ذکر شد ، به منظور افزایش کارایی و استفاده از YT ها ، هر کامیون می تواند چندین QC را ارائه دهد. اصولاً دو نوع عملیات برای کامیون های حیاط وجود دارد. یکی استراتژی یک چرخه است که در آن هر کامیون به یک جرثقیل اختصاص داده شده و فقط سرویس می کند. عملیات دیگر استراتژی دو چرخه نامیده می شود که در آن کامیون ها با جرثقیل های مختلف کار می کنند و منجر به استفاده بهتر از آنها می شود.

**3. مدل ریاضی**

مدل ارائه شده در این مطالعه بر اساس الگوی پیشنهادی بهجت و نهاوندی [20] ساخته شده و از مفهوم مسئله کارگاه انعطاف پذیر برای مدل سازی تخصیص یکپارچه و مسئله برنامه ریزی QC و YT الهام گرفته شده است. مسئله مورد بررسی در اینجا در نظر گرفتن جرثقیل های اسکله ای و کامیون های حیاطی به عنوان ماشین است و کانتینرها وظایفی هستند که باید در این ماشین آلات پردازش شوند. از آنجا که هر دو کانتینر ورودی و خروجی بررسی می شوند ، می توان این مسئله را به عنوان یک مورد خاص از یک مشکل برنامه ریزی کارگاه انعطاف پذیر در نظر گرفت. وجود مفروضات در دنیای واقعی مانند جرثقیل های بدون عبور و وجود حاشیه ایمنی بین آنها ، این مشکل را پیچیده تر از یک مشکل کارگاه انعطاف پذیر می کند.

برای اتمام کار هر کانتینر ، دو عملیات روی QC و YT وجود دارد. برای نشان دادن این عملیات ، از علامت O\_hj استفاده می شود که h مخفف تعداد عملیات است و j تعداد کانتینرها را نشان می دهد. برای هر کانتینر ورودی ، عملیات 1 توسط جرثقیل های اسکله ای انجام می شود و عملیات 2 توسط کامیون های حیاط انجام می شود. برای کانتینرهای خروجی ، این تعداد عملیات برعکس خواهد شد. به عنوان مثال ، در مورد کانتینرهای خروجی ، O\_2j عملیاتی است که توسط QC روی ظروف انجام می شود. در مدل پیشنهادی ، یک ظرف ساختگی اولین کانتینر در نظر گرفته شده است که روی هر QC یا YT پردازش می شود. پارامترها ، متغیرهای تصمیم گیری و مدل به شرح زیر است:

مولفه های :

𝑚

تعداد ماشین آلات (مجموع تعداد QC ها و YT ها)

𝑛

تعداد مشاغل (ظروف)

𝑄

تعداد جرثقیل اسکله

،

فهرست مشاغل

𝑙 ، ℎ ، 𝑙

شاخص عملیات

𝑘

فهرست ماشین آلات

𝑞𝑗

محل کار j (bay number)

Ω

مجموعه ظروف مقدم برتری

𝐽1

مجموعه ظروف ورودی

𝐽2

مجموعه ظروف خروجی

Φ

مجموعه عملیاتی که باید در QC پردازش شوند

δ

حاشیه ایمنی در بین جرثقیل های اسکله بر اساس تعداد جایگاه ها

𝑓ℎ𝑗𝑘

1 ، اگر ماشین k قادر به پردازش باشد

0 ، ساعت

𝑀

تعداد زیادی

∝1

وزن م makesلفه makepan تابع هدف

∝2

وزن حاصل از زمان اتمام جرثقیل های اسکله در تابع هدف

𝑝ℎ𝑗𝑙𝑖𝑘

زمان پردازش 𝑂ℎ𝑗 روی ماشین k اگر بلافاصله بعد از 𝑂𝑙𝑖 روی دستگاه is پردازش شود

متغیرها:

𝑋ℎ𝑗𝑙𝑖𝑘

1 ، اگر عملیات immediately بلافاصله پس از عملیات 𝑂ℎ𝑗 روی دستگاه k پردازش شود

0 ، ساعت

ℎ ، 𝑙 = 1،2 𝑖 ، 𝑗 = 1 ،… ، 𝑛 𝑘 = 1 ،… ،

𝑠ℎ𝑗

زمان شروع عملیات

ℎ = 1،2 𝑗 = 1 ،… ،

𝑐ℎ𝑗

زمان اتمام عملیات

ℎ = 1،2 𝑗 = 1 ،… ،

𝐶𝑘

زمان اتمام آخرین کار در اسکله جرثقیل k

𝑌ℎ𝑗𝑘

1 ، اگر عملیات on بر روی دستگاه k پردازش شود

0 ، ساعت

ℎ = 1،2 𝑗 = 1 ،… ، 𝑛 𝑘 = 1 ، ،

′

1 ، اگر عملیات after پس از عملیات پردازش شود 𝑂𝑙𝑖 (بلافاصله)

0 ، ساعت

ℎ ، 𝑙 = 1،2 𝑖 ، 𝑗 = 1 ،… ،

**مدل:**

****

****

همانطور که قبلاً ذکر شد ، تابع هدف به حداقل رساندن مقدار وزنی دهانه کشتی و مجموع زمان اتمام جرثقیل های اسکله است. تقلیل مدل بهینه سازی چند هدفه به یک مسئله واحد از طریق ترکیبی خطی از توابع هدف ، رویکردی معمول در مشکلات مشابه است. در مواردی با همان سرعت ، راه حل هایی که زمان بیکاری جرثقیل های اسکله ای را نیز به حداقل می رسانند ترجیح داده می شوند

به منظور افزایش استفاده از جرثقیل. از آنجا که به حداقل رساندن میزان استفاده از میزان استفاده از QC مهمتر است ، فرض بر این است که ∝1 = 0.99 𝑎𝑛𝑑 ∝2 = 0.01.

مجموعه محدودیت (1) اطمینان حاصل می کند که عملیات after دقیقاً پس از یک عملیات پردازش می شود. مجموعه محدودیت (2) تضمین می کند که حداکثر یک عملیات می تواند پس از عملیات قبلی انجام شود. مجموعه محدودیت (3) اطمینان حاصل می کند که عملیات on بر روی دستگاهی که توانایی پردازش عملیات را دارد پردازش می شود. به عنوان مثال ، اولین عملکرد ظروف خروجی (𝑂1𝑗 ، 𝑗∈𝐽2) را نمی توان روی جرثقیل اسکله پردازش کرد. براساس مجموعه محدودیت ها (4) ، به دنبال کارهای ساختگی ، فقط یک کار می تواند پردازش شود. مجموعه محدودیت (5) اطمینان حاصل می کند که اگر عملیات on روی دستگاه k پردازش نشود ، هیچ عملیات دیگری نمی تواند پس از این عملیات بر روی دستگاه ذکر شده پردازش شود. مجموعه محدودیت (6) برای محاسبه زمان اتمام عملیات در مدل گنجانده شده است. مجموعه محدودیت (7) اطمینان حاصل می کند که هر دستگاه همزمان بیش از یک عملیات را پردازش نمی کند. رابطه اولویت بین ظروف در مجموعه محدودیت ها در نظر گرفته شده است (8). مجموعه محدودیت ها (9) برای تعیین اینکه کدام کار بر روی کدام دستگاه پردازش می شود ، در مدل گنجانده شده است. مجموعه محدودیت (10) محدودیت عبور نکردن جرثقیل اسکله را تشکیل می دهد. برای دو کانتینر ، اگر 𝑌ℎ𝑗𝑙𝑖 ′ + 𝑌𝑙𝑖ℎ𝑗 ′ = 0 (یعنی 𝑂𝑙𝑖 و simultane به طور همزمان پردازش می شوند) ، اگر موقعیت ظرف j در سمت چپ ظرف i باشد ، سپس QC که عملیات processes را پردازش می کند در سمت چپ پردازش QC. مجموعه محدودیت (11) برای اطمینان از حاشیه ایمنی در میان جرثقیل های اسکله ای در مدل گنجانده شده است. فرض کنید که بین جرثقیل های اسکله مجاور باید یک حاشیه دو لبه وجود داشته باشد و جرثقیل های 3 و 5 به طور همزمان در حال پردازش ظروف هستند ، باید حداقل 4 ((5-3) × 2 = 4) حاشیه خلیج بین جرثقیل ها وجود داشته باشد. مجموعه محدودیت (12) زمان شروع عملیات را محاسبه می کند. مجموعه های محدودیت (13) و (14) برای محاسبه متغیر 𝑌ℎ𝑗𝑙𝑖، در مدل گنجانده شده است که پردازش همزمان دو عمل را نشان می دهد. سرانجام ، زمان اتمام آخرین کار در جرثقیل اسکله k بر اساس مجموعه محدودیت محاسبه می شود (15).

با استفاده از برخی ساده سازی ها و تنها با فرض وجود کانتینرهای ورودی و فرض وجود فقط یک کشتی در ترمینال ، مسئله پیشنهادی در این تحقیق می تواند به مشکل برنامه ریزی کارگاه با عملکرد هدف به حداقل رساندن میزان تبدیل تبدیل شود. بنابراین ، مسئله جدید ساده شده یک مشکل NP است که در ادبیات ذکر شده است [21]. بنابراین ، می توان نتیجه گرفت که مشکل پیچیده سابق نیز یک مشکل NP سخت است. از این رو ، هیچ راهی برای حل دقیق موارد در مقیاس بزرگ وجود ندارد و برای حل مشکلات لازم است روشهای فراتورشی مبتنی بر جستجو ایجاد شود .

**4. الگوریتم شبیه سازی شده**

بازپخت شبیه سازی شده (SA) ، اولین بار توسط

کرک پاتریک و همکاران [22] در سال 1983 ، فراتورشی است

الگوریتم بهینه سازی که در حل موثر است مشکلات بهینه سازی ترکیبی. این الگوریتم با استفاده از یک روش بازپخت در متالورژی الهام گرفته شد.

الگوریتم با شروع از یک جواب اولیه کار می کند و به محله بعدی بر اساس محله منتقل می شود ساختار جستجو در هر مرحله از الگوریتم. شرط پذیرش راه حل جدید محله و رفتن به آن پاسخ این است که جواب جدید باید باشد بهتر از کنونی در غیر این صورت ، با پذیرفته می شود یک احتمال مشخص این احتمال بر اساس محاسبه می شود در تعداد تکرارهای انجام شده و هدف تفاوت عملکرد بین جدید و جریان پاسخ می دهد الگوریتم راه حل جدید را با a می پذیرد اگر مشکل به حداقل برسد احتمال 𝑒 − وجود دارد

هدف (یا ... اگر مسئله حداکثر باشدهدف) ، جایی که E تفاوت عملکرد هدف است

مقادیر بین راه حل های فعلی و جدید ، و Tدمای فعلی است [23].

**4.1. نمایش راه حل در این مطالعه**

راه حل اولیه به طور تصادفی تولید می شود. پیشنهاد نمایش راه حل الگوریتم دارای دو قسمت اصلی است.

اولین مورد توالی پردازش ظروف است جرثقیل اسکله و اختصاص جرثقیل به ظروف ، و قسمت دوم پردازش است

دنباله ای از کانتینرها در کامیون های حیاط و آنها تعیین تکلیف به هر کامیون.

**4. 2. ساختار جستجوی محله دو**

اپراتورهای مختلفی برای تولید همسایه تعریف شده است

راه حل. براساس اپراتور 1 ، یک امتیاز به صورت تصادفی است در امتداد آرایه انتخاب می شود ، پس از آن ، موقعیت وظایف است با توجه به نقطه با یکدیگر جایگزین می شوند (شکل1(بر اساس عملیات دوم ، مواضع مربوط می شود به دو عنصر در امتداد آرایه با هر یک مبادله می شود دیگر. این حرکات به صورت تصادفی تکرار می شوند

تعداد دفعات (شکل 2).



شکل 1. نحوه کار اپراتور 1



شکل 2. نحوه کار اپراتور 2

**4. 3. گروه بندی بازپخت شبیه سازی شده**

مشکلات گروه بندی به نوعی به عنوان دسته بندی می شوند مشکلات بهینه سازی که در آن اعضای یک

مجموعه دلخواه G به چندین زیر گروه با تقسیم می شوند

تقاطع null و یک مقدار برابر با مجموعه G. The

فرض اصلی در چنین مشکلاتی این است که ترتیب گروهها اهمیتی ندارند. برخی از مشکلات در بهینه سازی ، از جمله رنگ آمیزی نمودار ، بسته بندی سطل آشغال ، برنامه ریزی و بسته بندی / تقسیم بندی دستگاه های دسته ای مشکلات ، می تواند به عنوان مشکلات گروه بندی در نظر گرفته شود.

اختصاص QC و YT به ظروف دو است مشکلات انتساب مورد بحث در این مطالعه است. از آنجا که

چیدمان جرثقیل های اسکله در آنها مهم است واگذاری (به دلیل فرضیاتی مانند ایمنی فاصله یا عدم حرکت عبور جرثقیل ها) ، این مشکل را نمی توان به عنوان یک گروه بندی در نظر گرفت مسئله. با این وجود ، مشکل اختصاص حیاط فرض می شود کامیون ها به کانتینرها یک مشکل گروه بندی هستند زیرا این کامیون ها شبیه به هم هستند و مورد خاصی وجود ندارد محدودیت مکانی در تخصیص آنها [24].

در نسخه گروه بندی الگوریتم (G-SA) ، به تخصیص و توالی کانتینرها را در QC به روز کنید در هر تکرار ، اپراتورهای 1 و 2 مطابق با استفاده می شوند شکل 1 و 2. تخصیص گروه کانتینر و توالی در YT ها ، با این حال ، به روز خواهد شد به شکل 3

**4.4 - معیارهای توقف**

در صورت رسیدن دما حداقل آن ، SA پیشنهادی متوقف خواهد شد. این الگوریتم همچنین متوقف می شود که پس از یک تعداد از پیش تعیین شده از تکرار ، هیچ بهبودی در بهترین راه حل فعلی

**5. نتایج عددی**

54 نمونه نمونه تصادفی برای ارزیابی مورد حل شده است . عملکرد مدل ریاضی پیشنهادی و کیفیت راه حل فراتورشی ارائه شده الگوریتم ها برای ایجاد چنین مشکلات تصادفی ، از دامنه های پیشنهادی بهجت و نهاوندی استفاده شد[20]

مقادیر پارامتر طراحی SA پیشنهادی (𝑇0 ، 𝑇𝑓𝑖𝑛𝑎𝑙 ، 𝛼) بر عملکرد و نتایج تأثیر می گذارد الگوریتم 𝑇0 و 𝑇𝑓𝑖𝑛𝑎𝑙 به ترتیب اولیه را نشان می دهند و دمای نهایی و 𝛼 به عنوان سرعت خنک سازی استفاده می شود در هر تکرار (دما در تکرار n برابر است

تا 𝛼 × دما در تکرار n-1). پارامترهای SA پیشنهادی با تنظیم یک معامله بین تنظیم می شود زمان و کیفیت راه حل ها. به منظور پیدا کردن مقادیر مناسب برای پارامترهای الگوریتم ، ترکیبات مختلفی از پارامترها بر روی a مورد آزمایش قرار گرفتند

تعداد زیادی از نمونه های آزمون ، و 100 ، 0.01 و 0.96 مقادیر به عنوان بهترین مقادیر برای 𝑇0 ، 𝑇𝑓𝑖𝑛𝑎𝑙 و selected انتخاب شده است ، به ترتیب.



شکل 3. نحوه کار کراس اوور G-SA

مشکلات در ابعاد کوچکتر می توانند دقیقاً باشند با استفاده از نرم افزار CPLEX حل شده است که علاوه بر اعتبار سنجی مدل ارائه شده ، ایجاد وضعیت برای عملکرد الگوریتم های توسعه یافته را ارزیابی کنید.

SA پیشنهادی توانست یک نتیجه مطلوب بدست آورد از 6 نمونه پیشنهادی. برای بقیه نمونه ها ، تفاوت بین پاسخ دریافت شده از SA و مدل ریاضی بهینه بین 1.67 و 3.43 این در حالی است که G-SA توانسته بود یک راه حل بهینه از 3 نمونه از 6. میانگین تفاوت بین راه حل های بهینه به دست آمده از مدل ریاضی و راه حل های تقریباً بهینه از الگوریتم های SA و G-SA 1.89 و 0.71 هستند به ترتیب ، نشان دهنده برتری G-SA است کارایی.

در جدول 1 درصد انحراف نسبی (RPD) مقادیر برای نمونه های بزرگتر با سه و چهار QC به منظور ارزیابی عملکرد

الگوریتم های توسعه یافته RPD به عنوان معیار عملکرد است

بر اساس معادله زیر محاسبه شده است:



که n تعداد کل موارد حل شده است ، مخفف مقدار تابع هدف برای داده شده است الگوریتم پس از حل مثال ith و …است

بهترین مقدار تابع هدف حاصل از داده شده است الگوریتم برای مثال ith. برای ارزیابی بیشتر فراتورشناسی پیشنهادی ، تأثیر تعداد YT ها بر میزان تولید بود همچنین تحقیق کرد. در شکل 4 تأثیر استفاده از a تعداد بیشتری کامیون حیاطی و جرثقیل اسکله در مقدار تابع هدف نشان داده شده است. برای این ،

مثال با 15 کانتینر برای 2 تا 4 QC حل شد و2 تا 10 YT. نتایج نشان داد که مقدار قابل توجهی وجود دارد همبستگی معکوس بین مقدار تابع هدف و تعداد YT ها.

کارایی استراتژی دوچرخه سواری در مقابل دوچرخه سواری

استراتژی اختصاص کانتینرها به YT ها با حل 9 مورد تصادفی با دو مورد بررسی شده است QC و تعداد متغیر YT. در یک دوچرخه سواری تعداد خاص سناریوهای YT به یک اسکله اختصاص داده شده است

در ابتدا جرثقیل. اما در سناریوی دوچرخه سواری ، در طول مجاز است YT ها را به صورت پویا اختصاص دهد مدت زمان پردازش ظروف. نتایج حاصل از حل این موارد در شکل 5 نشان داده شده است.

جدول 1. مقادیر RPD برای الگوریتم های پیشنهادی



شکل 4. تأثیر افزایش تعداد منابع (YT) و QC) در مورد عملکرد هدف



شکل 5. مقایسه استراتژی های انتساب YT (دوچرخه سواری)

در مقابل یک دوچرخه سواری)

**6. نتیجه گیری و مطالعات آینده**

یک مشکل برنامه ریزی و تخصیص اسکله جرثقیل و کامیون حیاط در بنادر کانتینر در ارائه شده است این مطالعه. یک مدل ریاضی از عدد صحیح دو هدفه برنامه نویسی با در نظر گرفتن دنیای واقعی ساخته شده است محدودیت هایی مانند عبور جرثقیل اسکله از طریق یکدیگر ، اولویت روابط و ایمنی فاصله بین جرثقیل ها. از آنجا که مشکل ارائه شده است .

در دسته مشکلات NP-hard قرار می گیرد ، دو نسخه مختلف SA برای حل این مشکل ارائه شده است. براساس چندین آزمایش عددی ، این الگوریتم ها می توانند راه حل های بهینه یا تقریباً بهینه ، به ویژه برای مشکلات در مقیاس کوچک ، به دست آورند. علاوه بر این ، با توجه به مفهوم گروه بندی در مشکلات بهینه سازی ترکیبی ، G-SA با توجه به اختصاص کامیون های حیاط به عنوان یک مشکل گروه بندی پیشنهاد شده است. این الگوریتم نسبت به SA راه حل های بهتری تولید می کند.

در تحقیق ارائه شده محدودیت هایی وجود دارد که باید در مطالعات آینده مورد توجه قرار گیرد. چند منبع عدم اطمینان در دنیای واقعی وجود دارد که بر برنامه ریزی جرثقیل های اسکله ای و کامیون حیاطی تأثیر می گذارد. انحراف از زمان تخلیه و بارگیری کشتی ها از زمان تخمین زده شده ، خرابی تجهیزات و سایر حوادث غیرمترقبه ممکن است باعث ایجاد اختلال در برنامه قطعی شود. این امر منجر به افزایش قابل توجه هزینه های رسیدگی و نارضایتی مشتریان می شود. بنابراین توجه به این عدم قطعیت ها و پویایی های دنیای واقعی مهم است و می تواند در تحقیقات آینده متمرکز شود.

علاوه بر این محدودیت های پایداری رگ وجود دارد که به توزیع مناسب وزن ظروف بر روی رگ اشاره دارد. که بر توالی بارگیری یا تخلیه ظروف در کشتی تأثیر می گذارد. این عامل مهمی است که باید هنگام بارگیری و تخلیه کانتینرها مورد توجه قرار گیرد. در غیر این صورت ممکن است باعث افتادگی ، پیچ خوردن یا حتی واژگونی رگ شود.

در این تحقیق با در نظر گرفتن یک طرح انباشت از پیش تعریف شده ساده شده است. اما ممکن است در طی فرآیند بارگیری / تخلیه کشتی ، به برخی اصلاحات توالی پردازش ظروف نیاز باشد. به عبارت دیگر ، ممکن است در مشکلات دنیای واقعی ، زمانبندی مجدد پویا و زمان واقعی ظروف مورد نیاز باشد. این یکی دیگر از مسیرهای تحقیقاتی آینده است که می تواند توسط محققان دنبال شود.

در نظر گرفتن عدم قطعیت در مفروضات مانند زمان پردازش کانتینر ، پیشنهاد روش های زمان واقعی بر اساس محدودیت های پایداری رگ و ارائه روشی برای یافتن حد پایین برای ارزیابی الگوریتم فرامتغیر از جمله مواردی است که ممکن است مورد توجه سایر محققان باشد به عنوان جهت تحقیق در آینده .

**منابع**

1. Zegordi ، S. H. و Nahavandi ، N. ، "اندازه گیری شاخص های بهره وری و کارایی در ترمینال کانتینر بندر راجایی" ، Scientia Iranica ، جلد 9 ، شماره 3 ، (2002) ، 248-254.

2. UNCTAD ، "بررسی حمل و نقل دریایی 2018". کنفرانس تجارت و توسعه سازمان ملل متحد ، (2018). https://doi.org/10.18356/cd4440fc-en

3. داگانزو ، سی. ف. ، "مسئله زمان بندی جرثقیل" ، تحقیقات حمل و نقل قسمت B: متدولوژی ، جلد. 23 ، شماره 3 ، (1989) ، 159-175. https://doi.org/10.1016/0191-2615(89)90001-5

4. Kim، K. H.، Park، Y. M.، "یک روش برنامه ریزی جرثقیل برای پایانه های کانتینری بندری"، European Journal of Operational Research، Vol 156، No. 3 (2004)، 752-768. https://doi.org/10.1016/s0377-2217 (03) 00133-4

5. Moccia، L.، Cordeau، JF، Gaudioso، M.، Laporte، G. "یک الگوریتم برش شاخه و for برای مسئله برنامه ریزی جرثقیل اسکله در یک ترمینال کانتینر" ، Naval Research Logistics ، جلد 53 ، شماره 1 (2006) ، 45-59. https://doi.org/10.1002/nav.20121

6. Nguyen، S.، Zhang، M.، Johnston، M.، Tan، K. C. "روشهای محاسباتی تکاملی ترکیبی برای مشکلات برنامه ریزی جرثقیل اسکله". تحقیقات رایانه و عملیات ، جلد 1 40 ، شماره 8 (2013) ، 2083-2093. https://doi.org/10.1016/j.cor.2013.03.007

7. Kaveshgar، N.، Huynh، N.، رحیمیان ، S. K. ، "یک الگوریتم ژنتیکی کارآمد برای حل مسئله برنامه ریزی جرثقیل اسکله" ، Expert Systems with Applications، Vol. 39 ، شماره 18 ، (2012) ، 13108-13117. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.05.091

8. Tavakkoli-Moghaddam، R.، Makui، A.، Salahi، S.، Bazzazi، M.، Taheri، F.، "یک الگوریتم کارآمد برای حل یک مدل ریاضی جدید برای مسئله زمان بندی جرثقیل اسکله در بنادر کانتینر"، کامپیوتر و مهندسی صنایع ، جلد 1 56 ، شماره 1 (2009) ، 241-248. https://doi.org/10.1016/j.cie.2008.05.011

9. Emde، S. "برنامه ریزی بهینه جرثقیل های تداخل دار و بدون تداخل"، Naval Research Logistics، Vol. 64 ، شماره 6 ، (2017) ، 476-489. https://doi.org/10.1002/nav.21768

10. Sammarra، M.، Cordeau، JF، Laporte، G.، Monaco، MF، "اکتشافی جستجوی تابو برای مسئله برنامه ریزی جرثقیل اسکله"، مجله برنامه ریزی، جلد 10، شماره 4-5 (2007)، 327 -336. https://doi.org/10.1007/s10951-007-0029-5

11. Legato، P.، Trunfio، R.، & Meisel، F. "مدل سازی و حل مشکلات برنامه ریزی جرثقیل غنی اسکله" Computer and Operations Research، Vol. 39 ، شماره 9 ، (2012) ، 2063-2078. https://doi.org/10.1016/j.cor.2011.09.025

12. Chen، J. H.، Bierlaire، M.، "مطالعه مسئله برنامه ریزی جرثقیل اسکله یک جهته: پیچیدگی و ریسک پذیری. اروپایی "، مجله تحقیقات عملیاتی ، جلد. 260 ، شماره 2 ، (2017) ، 613-624. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.01.007

13. Bierwirth، C.، Meisel، F.، "بررسی مشکلات تخصیص اسکله و برنامه ریزی جرثقیل اسکله در پایانه های کانتینر"، مجله تحقیقات عملیاتی اروپا، جلد 202، شماره 3 (2010) ، 615-627. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2009.05.031

14. Bierwirth، C.، Meisel، F.، "a follow-up research of berth and plans of crane crane in terminal container"، European Journal of Operational Research، Vol. 244 ، شماره 3 (2015) ، 675-689. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2014.12.030

15. Chen، L.، Bostel، N.، Dejax، P.، Cai، J.، & Xi، L. "یک الگوریتم جستجوی تابو برای مشکل برنامه ریزی یکپارچه سیستم های حمل و نقل کانتینر در یک ترمینال دریایی" ، مجله اروپا تحقیقات عملیاتی ، جلد 181 ، شماره 1 (2007) ، 40-58. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.06.033

16. Tang، L.، Zhao، J.، & Liu، J. "مدل سازی و حل مشکل برنامه ریزی جرثقیل اسکله مشترک و کامیون". مجله تحقیقات عملیاتی اروپا ، جلد 236 ، شماره 3 ، (2014) ، 978-990. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2013.08.050

17. Kaveshgar، N.، & Huynh، N. "برنامه ریزی جرثقیل اسکله و کامیون حیاط برای تخلیه کانتینرهای ورودی." مجله بین المللی اقتصاد تولید ، جلد 159 (2015) ، 168-177. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2014.09.028

18. وحدانی ، بی. ، منصور ، ف. ، سلطانی ، م. ، و ویسمرادی ، دی. "بهینه سازی دو هدفه برای ادغام جرثقیل اسکله و واگذاری کامیون داخلی با چالش های تقسیم کامیون ها." سیستم های دانش بنیان ، جلد 163 ، (2019) ، 675-692. https://doi.org/10.1016/j.knosys.2018.09.025

19. فاضلی ، م. ، فتح اللهی فرد ، ا. م. ، تیان ، جی ، "پرداختن به یک مسئله برنامه ریزی و انتصاب جرثقیل هماهنگ شده با اسکله توسط الگوریتم گوزن قرمز" ، مجله بین المللی مهندسی ، معاملات B: برنامه های کاربردی ، جلد. 32 ، شماره 8 ، (2019) ، 1186-1191.

https://doi.org/10.5829/ije.2019.32.08b.15

20. بهجت ، اس. ، و نهاوندی ، ن. "الگوریتم رقابتی مدل ریاضی و گروه بندی امپریالیستی برای مسئله برنامه ریزی جرثقیل اسکله و کامیون حیاط با محدودیت عبور از مرز" مجله بین المللی مهندسی ، مبدل A: مبانی ، جلد. 32 ، شماره 10 ، (2019) ، 1464-1479. https://doi.org/10.5829/ije.2019.32.10a.16

21. Pinedo ، M. برنامه ریزی. نیویورک: اسپرینگر ، 2012. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-2361-4

22. Kirkpatrick، S.، Gelatt، C. D.، Vecchi، M. P. "Optimization by simulated anneiling"، Science، Vol. 220 ، شماره 4598 ، (1983) ، 671-680. https://doi.org/10.1126/science.220.4598.671

23. نیک آبادی ، م. ، و نادری ، ر. "یک الگوریتم ترکیبی برای برنامه ریزی ماشین های موازی غیرمرتبط". مجله بین المللی محاسبات مهندسی صنایع ، جلد. 7 ، شماره 4 ، (2016) ، 681-702. https://doi.org/10.5267/j.ijiec.2016.2.004

24. کاشان ، A. H. ، کاشان ، M. H. ، کریمیان ، S. "یک بهینه ساز ازدحام ذرات برای گروه بندی مشکلات". علوم اطلاعات ، جلد 1 252 ، (2013) ، 81-95. https://doi.org/10.1016/j.ins.2012.10.036